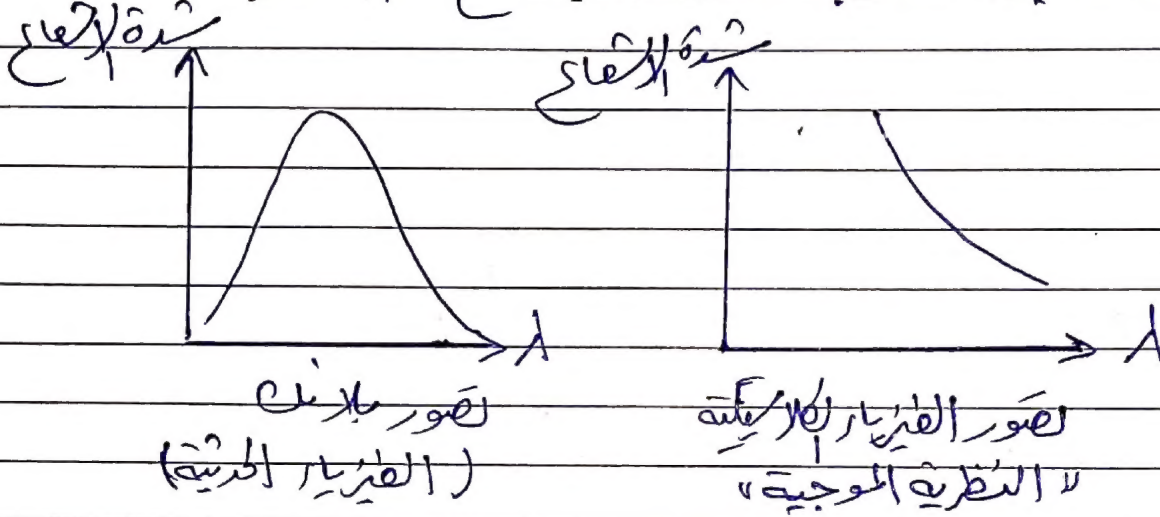


① اسرار الكم

مفاهيم أفكار الوحدة الثانية فيزياء

مقدمة في الفيزياء الحديثة «الفصل الأول»

① سر بحث بلانك منطقي أم في حالة الترددات العالية جدًا أو المنخفضة جدًا تقترب شدة الإشعاع من الصفر



ملاحظ أن كلا من الفيزياء الكلاسيكية والفيزياء الحديثة قد اتفقتا على المختل الأزمنة وهو المعبر عن العلاقة الطردنية بين شدة الإشعاع والتردد حيث أنه كلما زاد تردد الإشعاع زادت شدته وذلك بسبب الطبيعة الموجية للضوء

أما المختل الأس وهو أنه في حالة الترددات العالية للإشعاع فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر فهذا ما فشلت في تفسيره الفيزياء الكلاسيكية لأنها لم تراخ أن للضوء طبيعة جسيمية

حدث أن بلانك قد فر ذلك بالتعبير أن الذرة الموهجة تطلق إشعاعات على هيئة فوتونات حيث

$$E = h \nu \quad (\text{طبيعة جسيمية})$$

طاقة الفوتون

وبالتالي فإن شدة الإشعاع تعتمد على عدد الفوتونات

ولكن يفرض شوب طاقة الإشعاع الكلي فإن

$$\therefore E_{\text{كل}} = n E_{\text{الفوتون}} \quad \text{عدد الفوتونات} = n$$

② اسرار الكهرسلي

وليس الكهرسلي ثابت فيام
 $E \propto n$
 عدد الفوتونات للفوتون

استنتج بلانك أنه

$E \propto \nu$
 الردد الفوتون

$\nu \propto \frac{1}{n}$ $E \propto \frac{1}{n}$
 للفوتون

بزيادة الردد تقل عدد الفوتونات أي تقل شدة الإشعاع
 في الرددات العالية هذا تقريبا شدة الإشعاع من مصدر

⑤ من مخط بلانك يتضح أنه عند زيادة درجة الحرارة تزداد شدة الإشعاع وتقل الطول الموجي المصاحب لأقصى شدة إشعاع

③ قانون فيسب العلاقة العكسية بين الطول الموجي المصاحب لأقصى شدة إشعاع ودرجة الحرارة على شكل

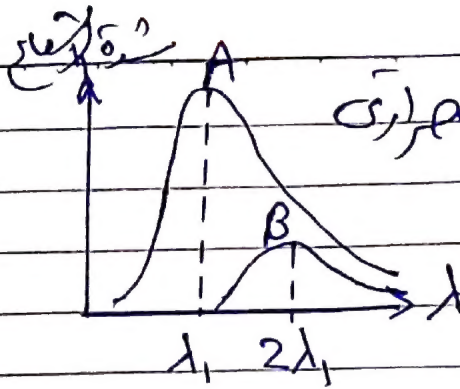
④ تم استخدام قانون فيسب للتعرف على درجة حرارة النجوم من خلال المقارنة مع درجة حرارة والطول الموجي طين فيسب سويج على الأرض حيث

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

لنجوم
 لنجوم
 الموجه
 الموجه

⑤ من مخط بلانك يتضح أن الأصم الباضة غير المتوهجة مصدر عن الإشعاع في منطقة الضوء غير المرئي (IR)

③ المسار الكهرسغني



⑥ مع الشكل المقابل: النسبة بين درجتي حرارة

الجسم A (العلقة) هي T_A

T_B

نسبة $\frac{2}{1}$ لأن

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{2\lambda_1}{\lambda_1} = \frac{2}{1}$$

⑦ إذا كانت درجة حرارة الجسم (A) < درجة حرارة جسم (B)

فإن نسبة الطاقة الكلية للإشعاع الصادر من (A) إلى الطاقة الكلية للإشعاع الصادر من B تكون أكبر من الواحد الصحيح وذلك لأن الطاقة الكلية للإشعاع تزداد بزيادة

التردد والذى يزداد بزيادة درجة الحرارة.

⑧ سرعة انتشار الفوتون = سرعة الضوء

⑨ لا يمكن تعجيله

⑩ لا يتوقف على المجال الكهربائي أو المغناطيسي

⑪ ليس له كتلة في حالة السكون

⑫ طاقته تزداد بزيادة تردده

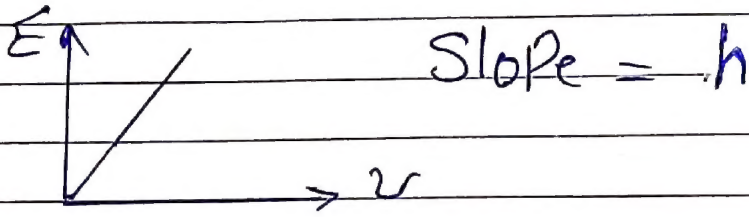
⑬ يمكن صياغة قوانين الفوتون مع المعادلة الآتية

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = mc^2 = \underbrace{P}_{\text{كمية تحركه}} \cdot \underbrace{c}_{\text{كتلة}}$$

وبالتالي يمكن إيجاد أي كمية فيزيائية متعلقة به منها

④ تردد الإلكترونات

⑩ الشكل البياني المعبر عن علاقة طاقة الفوتون وتردده هي



⑪ عند زيادة تردد الفوتونات الصادرة من جسم المتوهج فيام عددها يقل والقيمة ذكر قبل ذلك.

⑫ في تجربة كومبتون فيام : ① طاقة الفوتون الساقط أكبر من طاقة الفوتون المشتت

لأن

عند اصطدام الفوتون بالإلكترون فإنه يفقد جزء من طاقته لصالح الإلكترون.

③ الطول الموجي للفوتون الساقط أقل من الطول الموجي للفوتون المشتت

لأن

الفوتون المشتت طاقة أقل فيقل تردده فيزداد طوله الموجي

④ سرعة الفوتون الساقط تساوي سرعة الفوتون المشتت

لأن

سرعة الفوتون لا تتغير حيث عندما يقل تردده يمتد طوله الموجي فيزداد طوله الموجي بمتبة عكسية.

⑬ في المصباح الكهربائي المتوهج فيام نسبة شدة الأشعة تحت الحمراء الصادرة عنه إلى شدة الأشعة المرئية تكون أكبر من الواحد لأنها تمثل نسبة 50% بينما يمثل الفوق بنفسجي نسبة 20%

(5) انتشار الكهرسكون

(١٤) عند تسخين قطعة من الحديد طابع الاستعالي الخارج منها ينزيب
 ح د درجات الحرارة ح ب الترتيب التالي من اليسار إلى
 اليمين

$I-R \rightarrow R \rightarrow Y \rightarrow b \rightarrow w$
 بيفار زرفار صفار عمار تمت عمار

يقول الطول الموجي المصاحب لأقصى شدة اشعاع
 وتزداد الزرد

(١٥) من خصائص أشعة الكاثود: (١) جسيمات شحنة سلبية
 الة

(٢) متأثر (تتأثر) بالمجال الكهربائي
 والمغناطيسي

(٣) ليست كل سرعة ثابتة حيث تختلف
 باختلاف الطاقة

(٤) تختلف سرعتها (أقل) من سرعة

الموجات الكهرومغناطيسية لأنها موجات
 مادية

(١٦) من خصائص الإلكترون المتحرر: (١) له طبيعة مزدوجة موجية
 وجسيمية

(٢) يقول الطول الموجي المصاحب لموجته
 عند زيادة سرعته

(٣) شحنته سالبة لذا يتأثر بالمجال
 الكهربائي والمغناطيسي

(٤) يجذب للوع الموجب في المجال الكهربائي

في مسار قطع مكافئ بينما يتحرك

في مسار دائري في المجال المغناطيسي
 المحوري على اتجاه حركته

⑥ احسار الكهرسطيني

①٧ في أنبوبة أشعة الكاثود عند الفاصه فرق الجهد للتيبة فإيم شدة انارة الشاشة الفلورية تظل لأم

حيث V : جهد التبيبة $\frac{1}{2} meV^2 = eV$

حيث $V \propto K E$ فتقل طاقة الحركة للتيبة
جهد التبيبة وتقل شدة الانارة في الشاشة

①٨ الإلكترون و بروتون متحركان بنفس السرعة فإيم أطول لوجي المصاحب للإلكترون يكون أكبر من أطول لوجي لمصاحب للبروتون

لأم
عند سرعة $\lambda \propto \frac{1}{m v}$ دي برادلي

①٩ في أنبوبة أشعة الكاثود عندما تتلف الفتيبة لا تضيئ الشاشة الفلورية لعدم سقوط الإلكترونات عليها

② في أنبوبة أشعة الكاثود عندما تكون سرعة الإلكترون هم «لا» عند تعبيله بفرق جهد « V » فإذا زاد فرق الجهد المؤثر عليه إلى $2V$ فإن سرعة الإلكترون تصبح $\sqrt{2} V$

لأم
 $K E_{max} = \frac{1}{2} meV^2 = eV$

∴ عند سرعة $e m e r$ فإيم

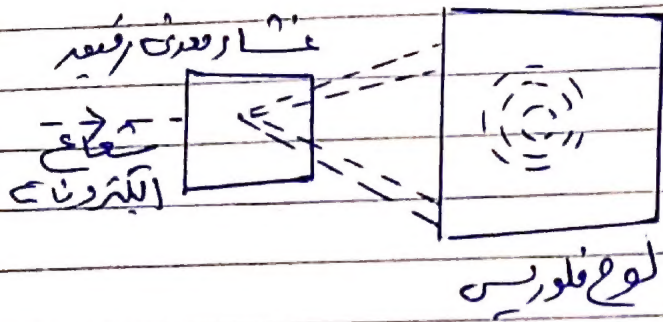
$\frac{V^2}{2} \propto \frac{V}{\text{فرق الجهد}}$
السرعة

وعندما يصبح فرق الجهد $2V =$

فإيم مربع السرعة $2V =$

∴ $V^2 = 2V$ ∴ $V = \sqrt{2} V$

⑦ اسرار الكون



① في كل المرات : لاحظ
ظهور مناطق خلقية مع اللوح
الفلوريس ما يدل على أن
للإلكترونات الحركة خواص
موجية لأن وجود المناطق

الخلقية مع اللوح يؤكد أنه قد حدثت بداخل منه البناء ومنه
الهوام ما يؤكد أن للإلكترونات خواص موجية

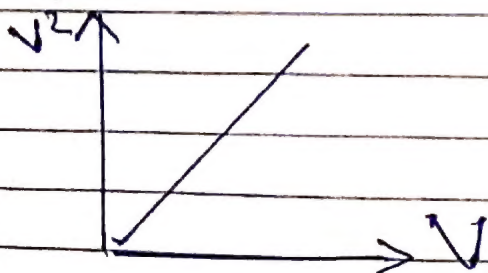
② متوقف انبعاث الإلكترونات من سطح كاثود خلية كهرومغناطيسية
على ① نوع مادة الكاثود ② تردد الضوء الساقط

③ متوقف دالة الشغل للسطح على نوع مادة السطح للفلز

④ عند تصاعف تردد الضوء الساقط على سطح فلز فإنه دالة
الشغل لهذا الفلز تظل ثابتة وذلك لأن دالة الشغل للفلز
لا تتوقف على التردد ولكنه يتوقف على نوع مادة السطح للفلز فهي
صفة مميزة لكل فلز.

⑤ عند كسوف الإلكترونات في الطول الموجي المناسب لها
فإنها سيأويها الضياء في حمية تحركها حسب معادلة دي برولي

⑥ الشكل البياني المعبر عن العلاقة بين مربع سرعة
الإلكترونات المنبعثة في أنبوبية أشعة المهبط وفرق الجهد
بين المهبط والمصدر هو



$$\text{Slope} = \frac{2e}{me}$$

⑧ إصدار الجسم الأسود

٢٧) إذا كان λ_m للشمس هو $0.5 \mu m$ فإذن أطول موجة تصدر من إنبات معدنية سوداء ما يبلغ هو تقريباً $8 \mu m$

للم
درجة حرارة سطح الشمس = $6000 K^\circ$

درجة حرارة الماء المغلي = $100 + 273 = 373 K^\circ$

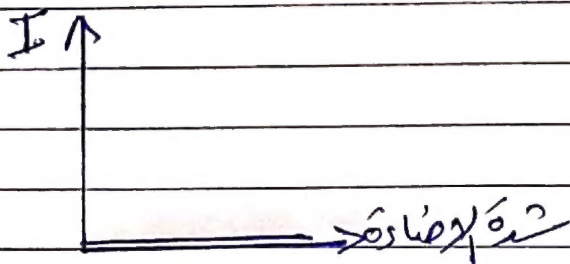
$$\frac{\lambda_m}{\lambda_{\text{معدنية}}} = \frac{\lambda_{\text{شمس}}}{\lambda_{\text{ماء}}} = \frac{373}{6000} = 0.5$$

٢٨) أطول الموجة المصاحبة لحرارة الفوتون متساوية عكسياً مع كمية الحرارة وعلى ذلك مع طاقته

٢٩) عند سقوط فوتون طول الموجة 5 \AA اختروم على سطح معدنية المسافة البينية لذراته 8 \AA اختروم فإذن هذا الفوتون حيد عن اتجاهه (النموذج الميكروسكوبي)

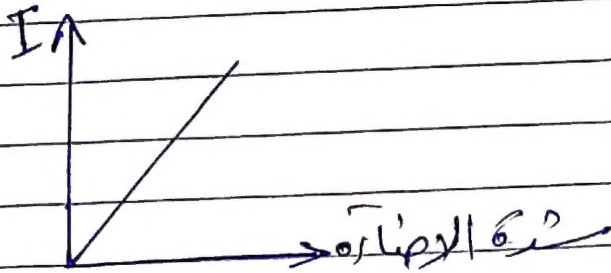
٣٠) عند سقوط فوتون طول الموجة 10 \AA اختروم على سطح معدنية المسافة البينية لذراته 5 \AA اختروم فإذن هذا الفوتون تنقل عليه (النموذج الماكروسكوبي)

٣١) الشكل البياني المعبر عن العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وشدة الإشعاع عند تردد أقل من التردد الحرج للفولتية هو

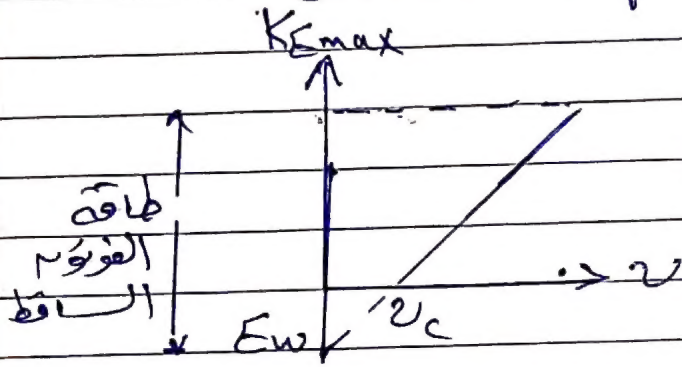


⑨ اسرار الكهرضوئي

٣٥ الشكل البياني المبرسم العلاقة بين سرعة التيار الكهروضوئي وسرعة الإضاءة عند تردد أكبر من التردد المخرج للفتور السطحي هو



٣٦ العلاقة البيانية بين طاقة الإلكترونات العظمى ($K_{E_{max}}$) وفوتونات وم تردد الضوء الساطع هي



تأثير = $h\nu$

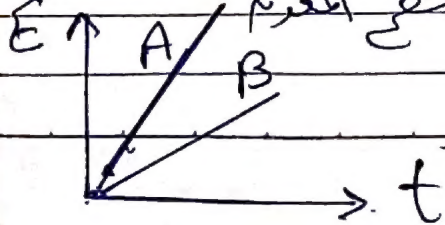
حيث ν : تردد شرج
 h : دالة أفغ للبحر
 مع العلاقة

$$K_{E_{max}} = E - E_w$$

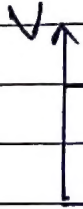
$$K_{E_{max}} = h\nu - h\nu_c$$

الميزر المقطوع المعبر للفتور السطحي
 من محور الصادات

٣٦ الشكل البياني التاكسيب العلاقة بين الطاقة التي تضاف إليها أثناء التثبيد من الفوتونات للتيار السطحي المعدني والزم (t) حيث الإلكترون (A) في المستوى قبل التثبيد والإلكترون (B) في المستوى الأخير



(٣٥) لكل الميقات المعبر عن العلاقة بين عدد الفوتونات «N» للضوء التي اطلقت على سطح فلز وسرعة الإلكترونات المنبعثة «v» عندما يكون تردد الضوء أكبر من التردد الحرج للفلز هو



طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة وبالتالي سرعة تبعث N فقط على تردد الضوء الساقط

وهي أن التردد قد شئت عند قيمة معينة أكبر من التردد الحرج في زيادة عدد الفوتونات أي شدة الاضاءة لا يؤثر في القيمة العظمى لطاقة حركة الإلكترونات أو سرعة تبعث ولكن التأثير فقط في زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة أي شدة السائر الكهروضوئي.

(٣٦) النسبة بين طاقتي الحركة للإلكترونات المنبعثة من سطح فلز من نقطة عليها ضوء أكبر في تردده من التردد الحرج لطبيعتها هي

$$\frac{KE_1}{KE_2} = \frac{\nu_1 - \nu_{c1}}{\nu_2 - \nu_{c2}}$$

(٣٧) النسبة بين مربعي سرعتي الإلكترونات المنبعثة من سطح فلز من نقطة عليها ضوء ذو تردد أكبر من التردد الحرج لطبيعتها هي

$$\frac{\nu_1^2}{\nu_2^2} = \frac{\nu_1 - \nu_{c1}}{\nu_2 - \nu_{c2}}$$

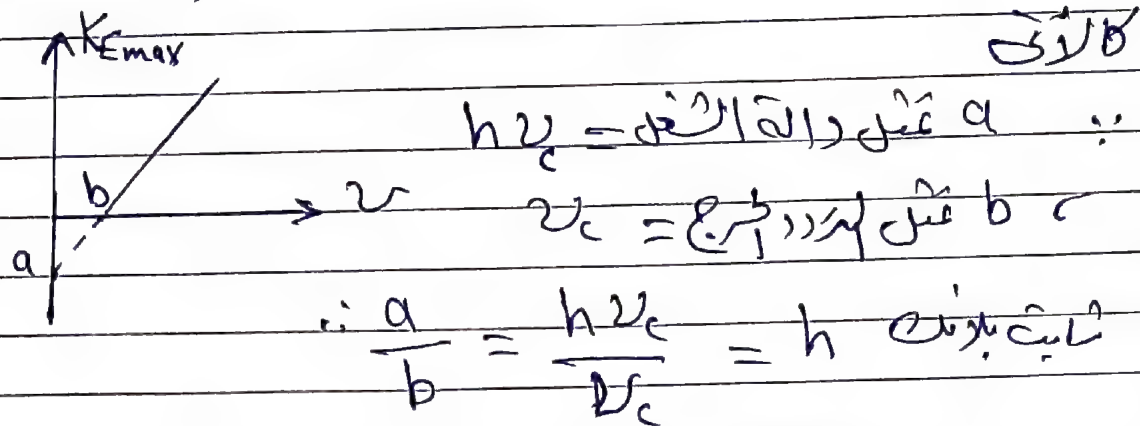
(٣٨) النسبة بين طولي الموجة طيسيم يتم تعجيلها باستلام فرقتي

حيث ν هو تردد الجسيم m الكتلة e الشحنة

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{m_2 e_2 \nu_2}{m_1 e_1 \nu_1}}$$

(11) اسرار الكهرلصق

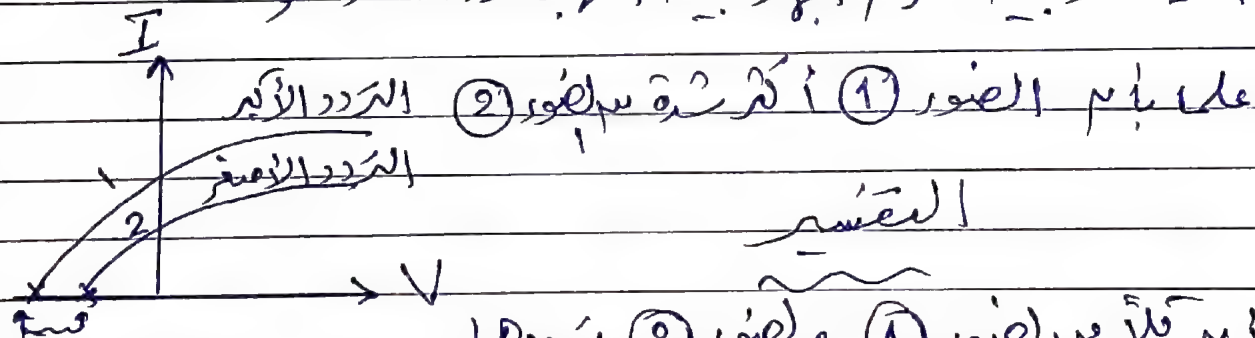
(39) من الشكل البياني المقابل يمكن حساب النسبة بين قيمتي b و c كالآتي



(40) لا يجدر القول بكون موجي للضوء الباطن على سطح فلز يؤدي إلى الانبعاثات الكهروضوئية هو

حيث C : سرعة الضوء
 $\lambda_{max} = \frac{hc}{E_w}$
 E_w : دالة الشغل للفلز

(41) الشكل البياني المبرسم العلاقة بين سرعة السيار الخارجة من دائرة حثية كهروضوئية وبتردد الضوء الباطن على مهبط الحثية وبين فرق الجهد بين المهبط والمصدر هو

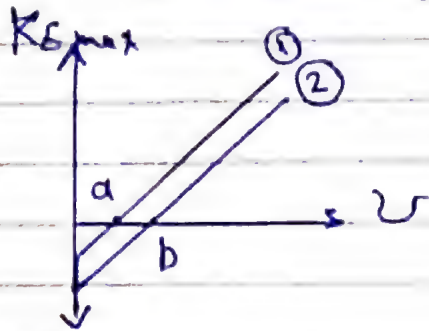


التفسير
 لأن كلا من الضوء (1) والضور (2) ترددها أكبر من التردد الخرج للفلز فقام التردد الأكبر

فيزيد من عدد الفوتونات الباطنة على وحدة المساحة من الفلز في وحدة الزمن وبالتالي زيادة عدد الإلكترونات التي تتحرر أي زيادة سرعة السيار الكهروضوئي عند نفس فرق الجهد بين المصدر والمهبط

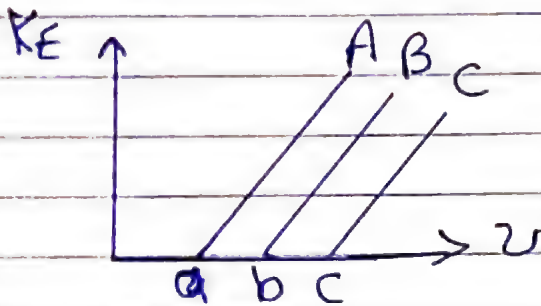
(12) اسرار الكهرطی

(٤٢) الشكل البياني المبين العلاقة بين طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح معدني متناهي عند تردد الضوء الساقط على كل منهما هو



حيث a : التردد الخارج للسطح ①
 b : التردد الخارج للسطح ②

(٤٣) عند السؤل مع أي المعاديم لا يتبع من الإلكترونات عند سقوط ضوء عليها تردده (٢١) مثلاً مع ذلك الشكل البياني الموضح .



فلابد من المقارنة بين ν_0 وقسم
 $a, b, c \leftarrow$ الترددات الخارجة للمعاديم
 A, B, C مع الترتيب وصلاً بين
 تحديد الإجابة

(٤٤) قيمة السرعة للإلكترون يتم تحصيله باستخدام فرقة جهد V يتغير مع العلاقة

$$V = \sqrt{\frac{2eV_f}{m_e}} \quad \begin{matrix} \text{فرقة} \\ \text{الجهد} \end{matrix}$$

(٤٥) الفكرة العلمية للأجهزة الاستعارية بعد أو أجهزة الرؤية الليلية من الإشعاع الحراري

(٤٦) من تطبيقات استخدام الأشعة تحت الحمراء : الكشف عن ثروات الأرض والاستعارية بعد أو أجهزة الرؤية الليلية

(٤٧) خلية كهروكيميائية تُراد ارتفاع سرعة التيار الكهربائي

المسبب منها :

الإيجابية

حيث أن الحلية سبقت منها تيار فإم تردد الضوء هذه الحالة لا تكون له أي تأثير لأنه يتجاوز التردد خرج وتلك سعة الضوء هو العامل المؤثر في سعة التيار الكهربائي وعلى فإم

إنفاذ سعة الضوء الساطع على المعدن هو الإيجابية

(٤٨) أيها تفضل للإطلاع سيار كهربائي على معدن

(P) استخدام ضوء الأحمر شديد الطول

أو (ب) من أنزهر خافت

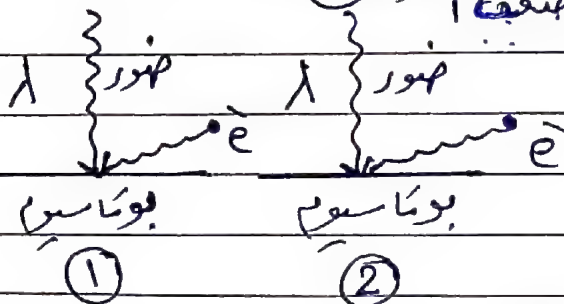
علماً بأن التردد خرج على معدل تردد الضوء الأصفر

الإيجابية

مع الواضح أنه بفضل الضوء الأزرق لأن تردده أكبر
مع تردد الضوء الأصفر وبالكافي أكبر من تردد خرج
عكس الضوء الأحمر.

(٤٩) عند الإشتغال مع اللون (١) إلى اللون (٢) فإم تأثير ذلك على

كل مع علماً بأن أشدة (١) = ضعف أشدة (٢)



(P) طاقة الفوتون الواحد :

لا تتغير لأن ثابتة

(ب) دالة الشغل للمعدن

ثابتة لأنها تتوقف على نوع المعدن

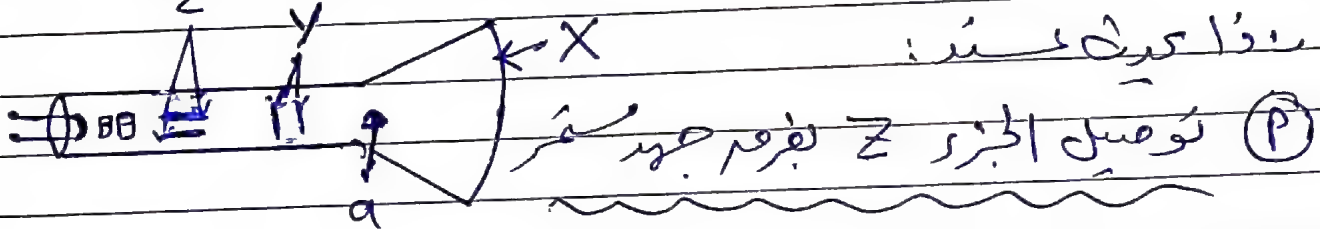
(ج) النهاية العظمى لطاقة حركة الإلكترونات المنبعثة

لا تتغير لأنها متوقفة على تردد الضوء وهو ثابت لأن المعدل الموجه ثابت

(د) شدة التيار الكهربائي

تتضاعف لأنه متوقف على شدة الضوء طالما كان التردد أكبر من التردد الحرج.

(هـ) في الشكل المقابل، انشوية أشعة الكاثود



تتغير أشعة الإلكترونات ناحية القطب الموجب (الوضع الذي يحل

شحنة موجبة)

ولاحظة مع الشاشة بـ حالة الإلكترونات بشكل رأس

(ج) اختصار الجذر γ

لديهم مع شعاع الإلكترونات لتأثير بلو أفقي

(ج) عدم طلاء الجذر λ بمادة فلورية

لديهم عندها وميض عند سقوط شعاع الإلكترونات على

(هـ) يعتبر تأثير كومبتون دليلاً على أن للصور خاصية جسيمية

(دقائقية)

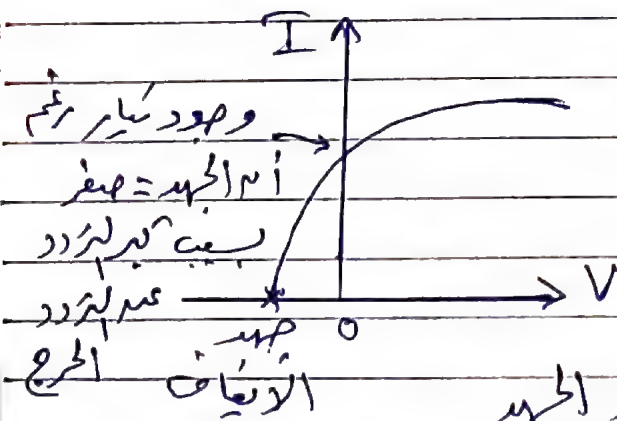
(15) استمرار الحركة

(٥٢) فالتأثير الفيزيائي الكلاسيكي في تفسير ظاهرة كوتونجراف لأثرها المعتد على كوتونجراف للصور خصائص موجية فقط ولم تراعى السلوك الجسيم له.

(٥٣) تتجلى في ظاهرة كوتونجراف خاصية بقا كمية التحرك وخاصية بقا الطاقة حيث أن مجموع سمت تحت تحرك الفوتون والإلكترون قبل وبعد التصادم بينهما تظل ثابتة ، كما أن مجموع طاقتي الحركة لهما قبل وبعد التصادم تظل ثابتة.

(٥٤) يعتبر تصادم الفوتون مع الإلكترون في تجربة كوتونجراف مع التصادمات غير المرنة كدور تغير في سرعة كل منهما قبل وبعد التصادم.

(٥٥) تعتبر حيز الإيقاف في الخلية الكهروضوئية هو أصغر جهد ثابت يكفي لجعل التيار متدفقا حسب الشكل المقابل ، حيث أنه عند



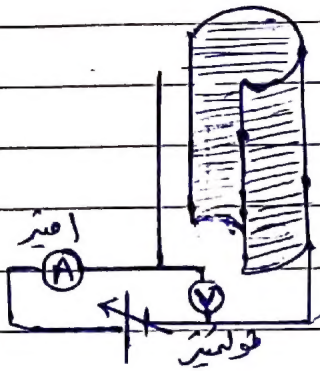
(٥٦) جعل جهد الأتود موجب في خلية فإنه يجذب المزيد من الإلكترونات من الكاثود حتى يصل إلى ما يسمى بـ «التيار المشبع» وهو لا يزيد مهما زاد الجهد الموجب للأتود.

(٥٧) ولما جعل جهد الأتود سالباً فإنه يعمل على مرد الإلكترونات الواردة إليه حتى يتلعب منع أسرع الإلكترونات واردة إليه فتتدفق التيار ويسمى هذا الجهد «جهد الإيقاف».

16) اعداد التجارب

٥٦) في الخلية الكهروضوئية الموصلة بالكل.

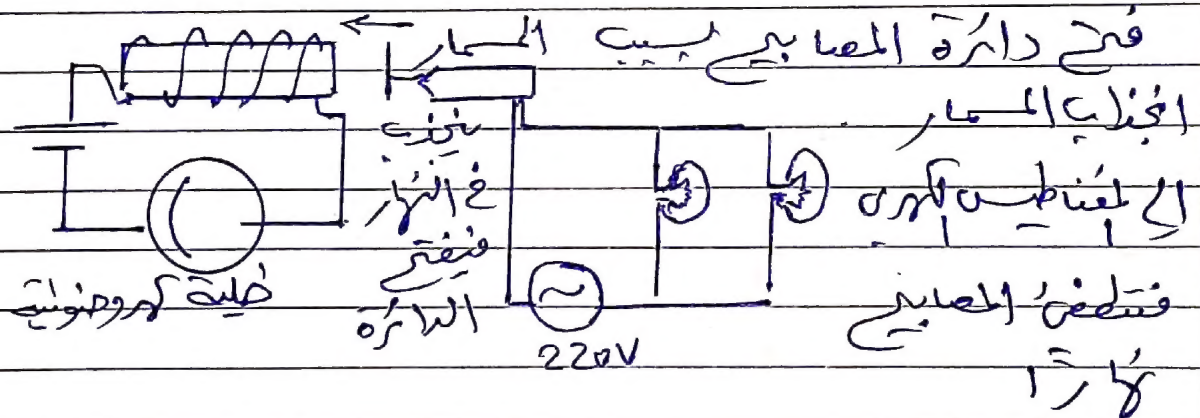
٥٧) تعتبر دائرة الخلية في هذه الحالة مفتوحة



لأنه لم يسقط ضوء على الكاثود فيؤثر إلى انبعاث الإلكترونات منه إلى الأنود لخلق الدائرة الكهربائية وبالتالي يتغير إحصاء هو مفتاح الدائرة يغلق ويفتح.

٥٨) استدل على الخلية الكهروضوئية في الحالات التالية

٥٩) إضاءة وإظهار الواسع آليا فيه التيار تعمل على



وفي الحال عند عدم سقوط الضوء على الكاثود يعود التيار إلى دائرة فيمر فيل التيار وتضاء المصابيح للتيار.

٥٩) فئة الأنواع آليا بنفس الطريقة سابقة

٥٨) في ظاهرة كومبتون يحدث لفوتون أشعة جاما بعد تشتت زياذة في طول الموجة ونقص في طاقته وتزداد

٥٨) في ظاهرة كومبتون السبب تشتت الإلكترون في المصادم إلى كتلة بعد المصادم يكون الواحد

١٧) إنداد الزخم

٦٩) عندما تصطق فوتون بالكترون ثم يصطدم بالكترون آخر فإن ذلك سبب في زيادة طول الموضع في كل مرة.

٦٠) النسبة بين طاقة الفوتون بعد الاصدام إلى طاقته قبل الاصدام في تأثير كومبتون تكون أقل من الواحد.

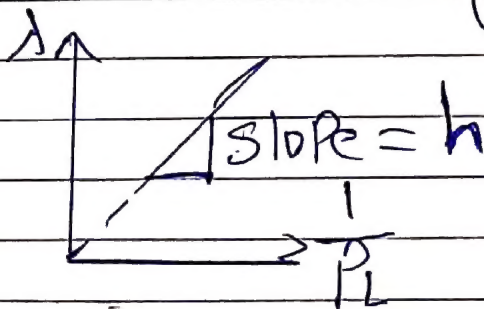
٦١) سرعة موجة الإشعاع الكهرومغناطيسي تكون ثابتة مهما تغير طول الموضع أو تغير تردده.

٦٢) لا تعتمد كمية حركة الفوتون على سرعة الإشعاع الهوائي بل تعتمد على تردده $(\frac{h\nu}{c})$

٦٣) الشكل البياني المبرسم العلاقة بين طاقة الفوتون (E) وسرعته (C) معيد من الشكل



٦٤) ميل الخط المستقيم الممثل للعلاقة بين ^{مقلوب} $\frac{1}{\lambda}$ و $\frac{1}{P_L}$ هو h (المثل للموضع يكون h)



لأن
معادلة دي بروي $\lambda = \frac{h}{P_L}$

٦٥) إذا زادت كمية تحرك P بمقداره 25% فإن طاقة حركته تزداد بنسبة 56% لأن

$$\Delta P_L = m \Delta V = 1 + 0.25 = 1.25$$

أي أن السرعة زادت بـ 1.25 مرة مقارنة بالاول
بـ مربع السرعة تزداد إلى 1.56 فتكون نسبة الزيادة

١٨) تردد الانعكاسي

في السرعة - $1 - 56 = 0.56$

طاقة الحركة تردد انعكاسي نسبة زيادة السرعة = 56%

٦٦) النسبة بين طاقتي حركة جسمين من العلاقة :

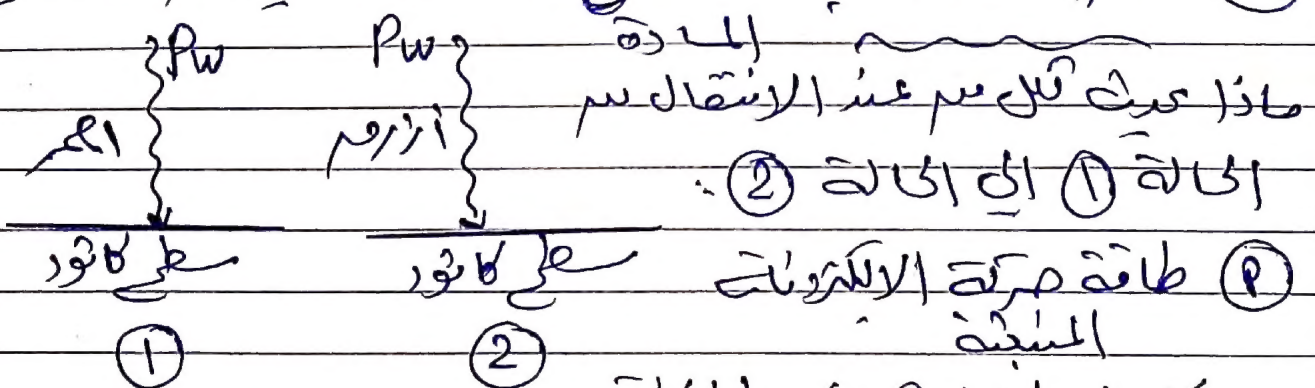
$$\frac{KE_1}{KE_2} = \frac{m_1 v_1^2}{m_2 v_2^2} = \frac{m_2 \lambda_2^2}{m_1 \lambda_1^2}$$

٦٧) النسبة بين القوتين اللتين يؤثران بها شعاعين هوائيين على سطح عاكس ما من العلاقة :

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{P_{w1}}{P_{w2}}$$

٦٨) عند سقوط شعاعين هوائيين على سطح عاكس بترددات مختلفتين وبفقد القدرة فإن نسبة القوة التي يؤثر بها الشعاع ذو التردد الأقل : القوة التي يؤثر بها الشعاع ذو التردد الأعلى كنسبة 1:1

٦٩) من الشكل المقابل : سطح الكاثود في الماسية من فتحة نوع



تردد لزيادة تردد الفوتونات الساقطة عليها

ب) طاقة الفوتونات التي يقطعها بالكاثود

تردد لزيادة التردد

(19) أعداد الكومبتون

(ج) عدد الفوتونات إلى الطاقة على الكاثود في الثانية الواحدة
تقل لزيادة طاقة الفوتونات إلى الطاقة

(د) دالة التغير لسطح الكاثود
ثابت لثبات نوع المادة

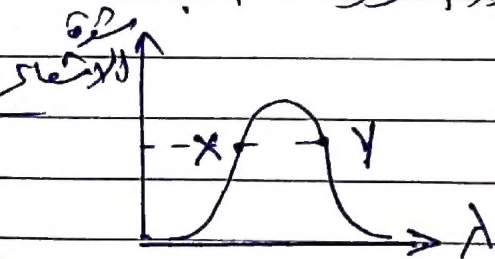
(٦٩) عند زيادة طاقة حزمة γ إلى X مرة فإنه يمكن
تقسيم نسبة التغير في الطول الموجي λ إلى X مرة

بدراسة العلاقة

$$\Delta \lambda = \left[100 - \sqrt{\frac{1}{X}} \right] \%$$

(٧٠) تعتمد فكرة عمل الميكروسكوب الإلكتروني على الطبيعة الموجية
للإلكترونات لأنها تعتمد على زيادة سرعة انتقال
الإلكترونات مما يؤدي إلى نقص الطول الموجي للموجة ليصلها
إلى الحد الذي يقارب أبعاد الفيروس

(٧١) في مخطط بلانك الموضح بالمثل فإن عدد الفوتونات المنبعثة



عند نقطة Y أكبر من نقطة X لأنه
عند نقطة Y التردد أقل وبالتالي متعدد
الفوتونات أكبر على X .